LA MATERIA, L'ENERGIA E L'ETERE

Conferenza tenuta in Winnipeg (1909)
inaugurandosi il congresso dell'Associazione Britannica per il Progresso delle Scienze
da Sir J. J. THOMSON

E' consuetudine che il Presidente di questa Associazione renda conto dei progressi compiuti nel corso degli ultimi anni nel ramo scientifico che egli ha l'onore di rappresentare.

Per conformarmi a questa consuetudine, mi propongo oggi di provarmi a esporre brevemente alcuni dei più recenti svolgimenti della fisica, e insieme le nuove dottrine dei fenomeni fisici alle quali essi hanno condotto.

In questi ultimi anni si sono compiuti dei progressi veramente straordinari in molte branche della fisica; e sono state scoperte molte nuove proprietà della materia e dell'elettricità, una volta del tutto insospettate. La storia di questo periodo fornisce una prova notevole degli effetti che possono derivare da una sola scoperta; poichè, a mio avviso, tutti i progressi recenti della fisica fanno capo alle proprietà dei raggi Roentgen.

I raggi Roentgen

Una scoperta così importante come quella dei raggi Roentgen può essere paragonata alla scoperta dell'oro in un paese poco popolato: la scoperta attira i lavoratori che sul principio vengono per cercare l'oro, ma che poi possono trovare nel paese altri prodotti, altri lati attraenti, più apprezzabili forse dell'oro stesso.

Il paese in cui venne scoperto l'oro, nel caso dei raggi Roentgen, è quella parte della fisica la quale si occupa della scarica elettrica attraverso i gas; soggetto che aveva sedotto, fin dai primi inizi della scienza elettrica, parecchi studiosi entusiasti, persuasi che nel tubo a vuoto dovesse trovarsi la chiave del mistero dell'elettricità. Nel 1895 Roentgen dimostrò che l'elettricità, nel passare per un tubo di questo genere, produceva dei raggi capaci di passare attraverso i corpi opachi alla luce ordinaria; questi raggi, per esempio, potevano attraversare i tessuti molli dell'organismo umano e proiettare l'ombra delle ossa sopra uno schermo convenientemente collocato.

Sedotti da questa scoperta, molti sperimentatori si diedero a studiare la scarica elettrica nei gas, e apportarono molti perfezionamenti negli strumenti utilizzati in tale genere di indagini.

Ma, per quanto sia importante il potere, posseduto dai raggi Roentgen, di penetrare i corpi opachi, non è ad esso che va principalmente attribuita l'influenza esercitata da quei raggi sui progressi della scienza: l'influenza si fonda piuttosto sul fatto che sotto l'azione dei raggi Roentgen i gas, e, del pari, i solidi e i liquidi, divengono conduttori dell'elettricità. E' vero che anche prima della scoperta di quei raggi si conoscevano altri metodi capaci di rendere conduttori i gas; ma nessuno di essi permetteva di effettuare delle misurazioni precise.

La costituzione molecolare dell'elettricità.

Esaminando i gas esposti all'azione dei raggi Roentgen, si è scoperta in essi la presenza di particelle cariche di elettricità; di queste particelle alcune sono cariche di elettricità positiva, altre di elettricità negativa.

Le loro proprietà sono state studiate; noi conosciamo la carica che esse portano, la velocità del movimento che esse prendono sotto l'azione di un campo elettrico, la legge secondo la quale le particelle diversamente cariche si ricombinano. E tali ricerche hanno gettato una nuova luce non solo sulla struttura dell'elettricità, ma anche sulla struttura della materia.

Per effetto di esse noi sappiamo che l'elettricità, come la materia, ha una struttura molecolare, che, nello stesso modo che una certa massa di idrogeno è l'insieme d'un numero immenso di piccole particelle chiamate molecole, così una certa carica di elettricità è il complesso di una moltitudine di piccole cariche per sè stanti ciascuna delle quali ha una grandezza perfettamente definita e conosciuta.

Nel 1889, Helmholtz diceva che, a' suoi occhi, la costituzione molecolare dell'elettricità appariva più evidente che la stessa costituzione molecolare della materia. Quanto più forte è l'evidenza oggi, dopo che abbiamo misurato la carica dell'unità e l'abbiamo trovata sempre uguale qualunque sia la fonte da cui proviene l'elettricità! Ma vi è di più: la teoria molecolare della materia deve alla teoria molecolare dell'elettricità la più precisa fra le determinazioni della sua costante fondamentale: il numero delle molecole contenute in una data quantità di una sostanza qualsiasi.

Il grande pregio dei metodi elettrici per lo studio della proprietà della materia sta in ciò, che ogniqualvolta una particella è elettriz

Digitized by Google

zata, la si può facilmente identificare, mentre una molecola non elettrizzata ci sfugge molto facilmente; e riesce possibile di riconoscere la presenza delle molecole solo quando esse sono in numero immenso.

Un calcolo molto semplice dimostrerà quanto sia ineguale il nostro potere di afferrare le particelle elettrizzate e quelle non elettrizzate.

La più piccola quantità di materia non elettrizzata che sia stata mai percepita, è probabilmente una quantità di *neon*, uno dei gas inerti dell'atmosfera. Il prof. Strutt ha dimostrato che si può riconoscere per mezzo dello spettroscopio la massa di *neon* contenuta in un ventesimo di centimetro cubo d'aria, alla pressione ordinaria; sir William Ramsay stima che la proporzione del *neon* nell'aria non oltrepassi una parte di questo gas per 100,000 parti di aria; in modo che il *neon* presente in $^1/_{20}$ di centimetro cubo d'aria, occuperebbe, sotto la pressione atmosferica, solo lo spazio di due milionesimi di centimetro cubo.

Espressa in questa forma, la quantità in discorso apparisce come immensamente piccola; ma, in questo spazio infinitamente piccolo, si trovano circa dieci *milioni di milioni* di molecole. Si calcola che la popolazione della Terra ascenda a circa 1500 milioni di abitanti, in guisa che il minimo numero di molecole di *neon* che noi possiamo distinguere è eguale a circa settemila volte la popolazione del globo. In altre parole, se per constatare la esistenza degli uomini non disponessimo di mezzi migliori di quelli che possediamo per le molecole non elettrizzate, arriveremmo alla conclusione che il nostro pianeta è disabitato.

Ben più esteso è il nostro potere di scoprire le molecole elettrizzate. Col metodo elettrico, e, meglio ancora, col metodo della condensazione del vapore d'acqua sulle particelle elettrizzate, escogitato da C. T. R. Wilson, siamo in grado di constatare la presenza di tre o quattro molecole per centimetro cubo. Rutherford ha stabilito che si può accertare la presenza di una sola particella α. Ora, la particella α non è che un atomo di *helium* elettrizzato; se quest'atomo non fosse stato elettrizzato, ne sarebbero occorsi più di un milione di milioni, invece di uno solo, perchè noi fossimo in grado di scoprirli.

Poichè le particelle elettrizzate possono essere studiate molto più facilmente delle molecole neutre, io credo che possiamo concludere che arriveremo a conoscere la struttura intima dell'elettricità ben prima di quanto potremo raggiungere il medesimo grado di certezza circa la struttura della materia.

Siamo già molto avanti sulla via che ci condurrà a stabilire la struttura dell'elettricità. Sino a qualche tempo fa, le nostre nozioni erano limitate a una sola specie di elettricità — l'elettricità negativa, che presenta delle proprietà molto interessanti.

L'elettricità negativa.

Sappiamo che l'elettricità negativa è formata di unità, tutte eguali tra loro; che queste unità sono estremamente piccole, anche in confronto al più minuscolo atomo, poichè la massa di un'unità non è che la 1700ª parte della massa di un atomo di idrogeno; che il loro raggio è soltanto di $^1/_{10,000,000,000,000}$ di centimetro; e che tali unità o « corpuscoli », come sono stati chiamati, possono essere estratte da tutte le sostanze. Le dimensioni di essi sono di un ordine di grandezza assolutamente diverso da quello delle dimensioni degli atomi; il confronto dei volumi d'un corpuscolo e d'un atomo fornisce un rapporto eguale a quello che sussiste fra il volume di un grano di polvere e le dimensioni della sala in cui ci troviamo. In certe condizioni, essi si muovono con velocità enormi, che, in alcuni casi, sono prossime a quella della luce.

L'elettricità positiva.

Siamo pienamente edotti sull'elettricità negativa; ma che cosa sappiamo sull'elettricità positiva? E' dessa costituita da unità portanti ciascuna una carica eguale in grandezza, e solo opposta di segno, a quella di un corpuscolo? Dal punto di vista delle dimensioni e delle proprietà fisiche, quest'unità differisce, o no, dal corpuscolo?

L'unità di elettricità positiva.

E' noto che, mediante opportuni processi, si riesce a ottenere dei corpuscoli da qualsivoglia materia, e che i corpuscoli sono identici qualunque sia la fonte da cui provengono. Avviene lo stesso per l'elettricità positiva? Possiamo noi ottenere, per esempio, dall'ossigeno un'unità identica a quella che fornirà l'idrogeno?

Per parte mia, credo che le probabilità maggiori stiano a favore dell'opinione affermativa, benchè per la natura dell'unità di elettricità positiva sia molto più difficile ottenere la prova che nel caso dell'elettricità negativa.

In primo luogo, sappiamo che le particelle positive (a cui è stato dato il nome di raggi canalizzati) scoperte dal nostro insigne ospite, dottor Goldstein, e che si osservano quando la scarica elettrica attraversa un gas altamente rarefatto, sono, a una pressione molto bassa, sempre le stesse, qualunque sia il gas contenuto in origine nel vaso. Se ci facciamo a estrarre questo gas sino al punto che la pressione diventi tanto bassa da non permettere più il passaggio della scarica — e se poi facciamo rientrare una

Digitized by Google

piccola quantità di gas, in guisa che la scarica torni a prodursi, otteniamo delle particelle sempre eguali, qualunque sia il gas introdotto per ultimo.

Per citare un esempio: io ho introdotto, entro un recipiente vuoto, dell'ossigeno, dell'*argon*, dell'*helium*, del vapore di tetracloruro di carbonio, gas tutti quanti esenti di idrogeno, e ho constatato che le particelle positive ottenute erano eguali a quelle formate in presenza d'idrogeno.

Alcune esperienze, fatte recentemente da Wellisch al Laboratorio Cavendish, forniscono un solido punto d'appoggio all'ipotesi che esista una unità di elettricità positiva, indipendente dalla natura del gas che la genera. Tali esperienze riguardano la velocità con cui le particelle positive si spostano nei miscugli di gas. Se esponiamo all'azione dei raggi Roentgen un miscuglio di ioduro di metile e di idrogeno, l'azione dei raggi sull'ioduro di metile è molto più intensa che sull'idrogeno, a tal punto che quando la proporzione di ioduro di metile è debole, tutte le particelle elettrizzate che si formano, provengono, praticamente, da questo gas e non dall'idrogeno.

Ora, se la particella positiva fosse semplicemente il residuo lasciato dalla molecola di ioduro di metile dopo il distacco di un corpuscolo, questa particella avrebbe le stesse dimensioni della molecola di ioduro di metile, la quale è molto voluminosa e pesante. Per conseguenza, le particelle positive dovrebbero muoversi, tra le molecole di idrogeno, più lentamente che le particelle positive derivate dall'idrogeno stesso; queste ultime infatti, secondo l'ipotesi dianzi accennata, hanno le dimensioni e il peso delle leggerissime molecole di idrogeno.

Invece Wellisch ha constatato che nel miscuglio le velocità delle particelle positive erano eguali a quella della molecola di idrogeno, sebbene, nel primo caso, gli ioni sarebbero derivanti dall'ioduro di metile, e nel secondo dall'idrogeno; si ottengono degli effetti analoghi sostituendo all'ioduro di metile, il tetrocloruro di carbonio.

Questi risultati e altri simili portano a concludere che gli atomi dei diversi elementi chimici, contengono delle unità definite di elettricità positiva come di elettricità negativa, e che l'elettricità positiva, come quella negativa, presenta una struttura molecolare.

Le ricerche intraprese circa l'unità di elettricità positiva dimostrano che essa è completamente diversa dall'unità di elettricità negativa. Questa ha una massa eccessivamente piccola, in confronto a quella d'un atomo qualunque; le sole unità positive che noi siamo riusciti a scoprire fin adesso, posseggono una massa, sotto ogni aspetto paragonabile con la massa dell'atomo di idrogeno.

Ciò aumenta la difficoltà di stabilire con certezza che sia stata isolata l'unità di elettricità positiva, potendo darsi che essa sia un corpo molto più piccolo, ma avente la proprietà di aggregarsi agli atomi di idrogeno presenti casualmente nel vaso. Se le unità positive hanno una massa molto maggiore delle unità negative, esse devono, a velocità eguale, essere meno facilmente deviabili nel campo magnetico. In generale, l'insensibilità delle particelle positive all'influenza del magnete è molto accentuata, benchè vi siano dei vasi in cui le particelle positive sono molto più facilmente sviate.

Questi fatti sono stati interpretati come prove dell'esistenza di unità positive di massa comparabile con la massa delle unità negative. Io ho trovato per altro che in tali casi il movimento delle particelle positive è molto lento, e che la facilità con cui esse subiscono una deviazione è dovuta al debole valore della loro velocità e non della loro massa.

Conviene tuttavia osservare che il prof. Jean Becquerel, a proposito dello spettro d'assorbimento di alcuni minerali, e il prof. Wood, a proposito della rotazione del piano di polarizzazione della luce nel vapore di iodio, hanno osservato degli effetti che potrebbero essere spiegati con la presenza, nei corpi, di unità positive di massa analoga a quella dei corpuscoli. Questa, però, non è la sola spiegazione possibile; e resta sempre il fatto che, fino ad oggi, le più piccole particelle elettrizzate positivamente che l'esperienza ci abbia manifestate direttamente, hanno delle masse comparabili con quella dell'atomo di idrogeno.

La struttura della materia.

La conoscenza della massa e delle dimensioni delle due unità di elettricità, cioè l'unità positiva e l'unità negativa, ci fornirebbe i materiali occorrenti per costruire quella che si potrebbe chiamare una teoria molecolare dell'elettricità; e quest'ultima potrebbe essere la base di una teoria della struttura della materia, poichè, in tale argomento, il concetto più facilmente accettabile a titolo di ipotesi provvisoria è quello che la materia sia composta di unità di elettricità positive e negative; dal che risulta che le forze le quali tengono uniti gli atomi e le molecole, e le proprietà che differenziano tra loro le varie specie di materia, hanno tutte la loro origine nelle forze elettriche esercitate dalle unità positive e negative di elettricità, forze che sarebbero raggruppate in modi diversi negli atomi dei vari elementi.

E siccome pare che le unità di elettricità positiva e negativa abbiano delle dimensioni molto diverse, noi dobbiamo considerare la materia come un complesso formato di sistemi di tipi molto

Digitized by Google

dissimili; l'uno corrispondente al piccolo corpuscolo, l'altro alla grossa unità positiva.

Poichè l'energia legata a una data carica è tanto più grande, quanto più piccolo è il corpo sul quale la carica è ripartita, l'energia concentrata nei corpuscoli negativi sarà molto maggiore di quella raccolta sulle particelle positive. La quantità di energia ammassata nella materia ordinaria, sotto forma di energia potenziale elettrostatica dei suoi corpuscoli, a mio avviso, normalmente non entra in giuoco. Tutte le sostanze emettono dei corpuscoli, in modo che si può ammettere che ogni atomo di un corpo contiene almeno un corpuscolo. Partendo dalle dimensioni e dalla carica del corpuscolo, quantità che ci sono note, troviamo che ogni corpuscolo possiede una energia di $^{8}/_{10,000,000}$ di *erg;* questo calcolo è fatto in base alla supposizione che le espressioni usuali dell'energia di un corpo carico, serbino il loro valore anche quando la carica, come avviene per i corpuscoli, è ridotta all'unità.

Ora, in un grammo di idrogeno vi sono circa 6×10^{23} atomi; perciò, se vi è soltanto un corpuscolo per ogni atomo, l'energia dovuta ai corpuscoli è, per 1 grammo di idrogeno, di 48×10^{16} *erg*, cioè 11 miliardi di calorie.

E' più di sette volte la quantità di calore sviluppata da un grammo di radium, o di quella prodotta dalla combustione di cinque tonnellate di carbone.

Così vediamo come la materia per sè stessa contenga delle enormi riserve di energia; quest'energia è, per buona fortuna, tenuta prigioniera dai corpuscoli, poichè se, in un momento qualunque, ne divenisse libera una frazione apprezzabile, la Terra esploderebbe e si ridurrebbe in una nebulosa di gas.

L'etere.

La materia di cui ho parlato fin adesso è la materia che costituisce la Terra, il Sole e le stelle, la materia che viene studiata dal chimico e che può essere simbolicamente rappresentata mediante una formula. Però questa materia non rappresenta che una parte insignificante del mondo; essa forma solo delle isole anguste in mezzo al vasto oceano di etere, sostanza di cui è pieno l'universo intero.

L'etere non è una creazione immaginaria dello spirito del filosofo speculatore, esso è una cosa essenziale per noi non meno dell'aria che respiriamo. Dobbiamo infatti ricordare che, su questa Terra, noi non viviamo mediante le nostre proprie risorse; noi dipendiamo, ogni minuto che passa, da quello che ci manda il Sole, ed è per la via dell'etere che i doni del Sole giungono sino a noi. Il Sole non ci dà soltanto il giorno e la notte, la primavera e l'estate; gli è all'energia solare immagazzinata nel carbone, nelle cadute d'acqua, negli alimenti, che è dovuta, praticamente, tutta l'attività del mondo.

Ci possiamo rendere conto dell'importanza degli aiuti che ci prodiga il Sole, osservando che la quantità di calore ricevuta dalla Terra, quando il Sole è alto e il cielo sereno, secondo le misure del Langley, di 17,000 cavalli-vapore per ettaro. Sebbene i nostri ingegneri non abbiano ancora trovato il modo di utilizzare questa enorme riserva di forza, non dubito che un giorno ci riusciranno, e quando il combustibile sarà esaurito e l'energia fornita dai corsi d'acqua sarà divenuta insufficiente, non è impossibile che là sia la fonte da cui il mondo trarrà l'energia necessaria alla sua attività.

Quando quest'epoca sarà arrivata, i nostri centri di attività industriale saranno trasportati negli ardenti deserti del Sahara e il valore della terra si calcolerà in base all'attitudine che essa ha di ricevere i congegni destinati a far prigionieri i raggi del Sole.

Quest'energia, nell'intervallo tra il momento in cui essa lascia il Sole e quello in cui raggiunge la Terra, deve trovarsi nello spazio che separa questa da quello. Così lo spazio deve contenere qualche cosa che, del pari della materia ordinaria, è capace di immagazzinare l'energia; che è suscettivo di trasportare, con una velocità considerevole, l'energia che accompagna la luce e il calore, e che, inoltre, può far entrare in azione le enormi forze necessarie al mantenimento del movimento della terra intorno al Sole, e della Luna intorno alla Terra.

Lo studio di questa sostanza che penetra tutto è forse il compito più attraente e più importante del fisico.

Secondo la teoria elettromagnetica della luce, oggi universalmente accettata, l'energia che si riversa sulla Terra viaggia attraverso l'etere sotto forma di onde elettriche: così, praticamente, tutta l'energia di cui disponiamo fu, a un certo momento, allo stato di energia elettrica. L'etere deve, adunque, essere la sede di forze elettriche e magnetiche.

Noi conosciamo, grazie al genio di Maxwell, il fondatore e l'ispiratore della teoria elettrica moderna, le equazioni che esprimono le relazioni di queste forze; e, sebbene per parecchi usi tali equazioni rappresentino tutto quello che ci è necessario, rimane sempre il fatto che esse non ci forniscono un'idea completa della natura dell'etere.

Inoltre, per certe menti, le equazioni non hanno che un interesse un po' platonico; qualche cosa di più grossolanamente meccanico — per esempio, un modello — è, agli occhi di molti, assai più suggestivo e comprensibile; e, per

Digitized by Google

costoro, è uno strumento d'indagine più poderoso di una teoria puramente meccanica.

L'etere è denso o leggero? Quale è la sua struttura? E' in riposo o in movimento? Ecco delle questioni che si presentano spontaneamente alle nostre menti.

Onde luminose e movimenti dell'etere.

Consideriamo alcuni dei fatti che ci sono noti a proposito dell'etere.

Quando la luce cade sopra un corpo e ne è assorbita, il corpo riceve una pulsazione diretta nel senso della propagazione delle onde luminose, e, se esso è suscettivo di spostamento, viene messo in moto dalla luce. Ora, per un principio fondamentale della dinamica, quando un corpo è messo in movimento in una certa direzione, o, come si dice in dinamica, acquista una quantità di movimento relativamente a tale direzione, un'altra massa deve perdere la medesima quantità di movimento; in altri termini, questo principio afferma che la quantità di movimento ripartita nell'universo è costante.

Così, quando un corpo è spinto avanti dalla luce, qualche altro sistema deve perdere la quantità di movimento acquistata dal corpo; e l'unico sistema che venga in considerazione a tale effetto è l'onda luminosa che ha investito il corpo. Da ciò risulta che l'onda ha dovuto possedere una certa quantità di movimento nella direzione della sua propagazione.

Una quantità di movimento significa massa di movimento. Arriviamo così alla conclusione che nell'etere, in cui l'onda viaggia, vi è una massa in moto con la velocità della luce. Gli esperimenti eseguiti sulla pressione prodotta dalla luce ci permettono di calcolare questa massa; si trova che, per un chilometro cubo di etere, il quale trasmetta una intensità luminosa eguale a quella della luce solare alla superficie della Terra, la massa in moto è soltanto di circa un cinquantamilionesimo di milligrammo.

Conviene guardarsi dal confondere questa massa con quella di un chilometro cubo di etere; si tratta soltanto della massa che si mette in moto al momento del passaggio della luce; la maggior parte dell'etere non è turbata da questo passaggio.

Ora, secondo la teoria elettromagnetica della luce, un'onda luminosa può essere considerata come formata da fasci di linee di forza elettrica, moventisi con la velocità della luce; e da questo punto di vista riesce possibile dimostrare che, per ogni centimetro cubo, la massa d'etere messa in moto è proporzionale alla quantità di energia di queste linee di forza elettrica, divisa per il quadrato della velocità della luce. Ma benchè le linee di forza elettrica, spostandosi, mettano in moto un po' di etere, la quantità così messa in moto, anche nei campi elettrici più intensi che noi riusciamo a produrre, non è che un'infima frazione dell'etere che le circonda.

Ciò è provato da un esperimento eseguito da sir Oliver Lodge, nel quale la luce attraversava un campo elettrico animato da rapido movimento. Se il campo elettrico avesse messo in movimento la totalità dell'etere, la velocità della luce sarebbe aumentata con l'aumento di velocità del campo. Invece non si potè constatare alcun aumento, sebbene le cose fossero disposte in modo da renderne possibile la segnalazione solo che esso si fosse elevato alla millesima parte del valore del campo.

L'etere trascinato da un'onda di luce non deve essere che una parte infinitamente piccola dell'etere contenuto nel volume occupato dall'onda. Certe porzioni di questo etere sono in moto, ma la parte di gran lunga maggiore rimane in riposo. Così, sulla fronte dell'onda, non vi può essere uniformità: in alcuni punti l'etere è in movimento; in altri esso è in riposo. In altri termini, l'aspetto della fronte dell'onda deve rassomigliare più a quello di una miriade di punti brillanti disseminati sopra un fondo oscuro, che a quello di una superficie illuminata uniformemente.

I punti in cui la densità dell'etere messo in moto da un campo elettrico è massima, saranno situati presso un corpuscolo, perchè i campi elettrici esistenti intorno ai corpuscoli sono di gran lunga i più intensi di tutti quelli che noi conosciamo.

Ci è nota la massa dei corpuscoli; le esperienze di Kaufmann ci hanno insegnato che essa è di origine esclusivamente elettromagnetica, e che, per conseguenza, essa è dovuta all'etere che accompagna il corpuscolo, etere messo in moto dalle linee di forza che ne emanano.

Un calcolo molto semplice dimostra che la metà di questa massa è contenuta in uno spazio eguale a sette volte il volume del corpuscolo. Siccome conosciamo il volume e la massa di un corpuscolo, possiamo dedurre da questi dati la densità dell'etere che vi aderisce. Si trova che questa densità è espressa dal numero prodigioso 5×10^{10} all'incirca, cioè press'a poco duemila milioni di volte la densità del piombo.

Sir Oliver Lodge, in base a considerazioni leggermente diverse, ha ottenuto una cifra dello stesso ordine di grandezza.

La densità dell'etere.

Così, intorno al corpuscolo, l'etere possiede una densità straordinaria. La densità è egualmente forte in altri punti? Per rispondere a tale questione bisognerebbe sapere prima di tutto se l'etere è compressibile o no. Se esso è compressibile, può trovarsi condensato at-

Digitized by Google

torno ai corpuscoli e dar luogo a una densità locale elevata in modo anormale; ma se esso non è compressibile, la sua densità, nello spazio libero, non può essere inferiore al numero che ho testè menzionato.

A tale proposito conviene ricordare che le forze le quali agiscono sull'etere, in vicinanza del corpuscolo, sono prodigiose. Supponiamo, per esempio, che l'etere sia un gas ideale la cui densità cresca proporzionalmente alla pressione, per quanto questa sia elevata; in tali condizioni, se, sottoposto alle pressioni che esistono secondo certe direzioni in prossimità del corpuscolo, l'etere avesse la densità stabilita più sopra, la sua densità, sotto la pressione atmosferica sarebbe solo di $\frac{8}{10\,000\,000\,000\,000\,000}$ ciò significa che la massa di un chilometro cubo sarebbe inferiore a un grammo; di guisa che, invece di essere incomparabilmente più denso del piombo, l'etere sarebbe incomparabilmente più sottile del più leggero dei gas.

Fin adesso, per quanto io sappia, non abbiamo conoscenza di alcun fenomeno il quale ci permetta di stabilire se l'etere è compressibile o incompressibile. E sebbene, a prima vista, l'idea che ci troviamo immersi in un mezzo quasi infinitamente più denso del piombo, sembri inconcepibile, non è più così quando ci ricordiamo che, secondo ogni probabilità, la materia è fatta principalmente di buchi.

In realtà, noi possiamo considerare la struttura della materia come analoga a quella di una specie di gabbia da uccelli, dal che consegue che il volume d'etere perturbato dalle sbarre quando la gabbia si muove è infinitamente piccolo in confronto al volume limitato da queste sbarre. Adottando tale concetto, la grande densità dell'etere non crea alcuna difficoltà: basta aumentare l'intervallo delle sbarre in proporzione all'accrescimento della densità dell'etere.

Materia ed etere.

Cerchiamo ora di stabilire quale sia la quantità di etere messa in moto dalla materia ordinaria, e quali siano gli effetti che ne possono derivare.

Il sistema elettrico più semplice che ci sia dato concepire, vale a dire una sfera elettrizzata, ritiene una massa di etere proporzionale alla sua energia potenziale e tale che, se la massa dovesse spostarsi con la velocità della luce, la sua energia cinetica diverrebbe eguale all'energia potenziale elettrostatica della sfera. Estendendo tale risultato a un sistema elettrizzato qualunque, si vede che tale sistema si impadronisce di una massa di etere proporzionale alla sua energia potenziale. Così, una frazione della massa di un sistema qualsiasi è proporzionale all'energia potenziale del sistema.

Qui sorge una questione: questa parte della massa accresce il peso del corpo? Se l'etere fosse sottratto alle leggi della gravitazione universale, evidentemente essa non porterebbe alcun aumento; e, anche se l'etere fosse ponderabile, dato che il corpo è immerso in un oceano d'etere, potrebbe essere che la quantità d'etere aderente al corpo non producesse alcuna variazione nel suo peso.

Ma se l'etere è imponderabile, ne consegue che se un corpo possiede una energia potenziale elevata, una parte apprezzabile della sua massa ha una forma tale da non accrescere il suo peso. Per conseguenza, il peso di una data massa di questo corpo può essere inferiore al peso di una massa eguale di un altro corpo qualsiasi la cui energia potenziale è minore. Così, due masse eguali di una stessa sostanza avrebbero un peso diverso.

Ora, le esperienze sul pendolo, come ha osservato Newton, ci permettono di determinare con molta precisione i pesi di masse eguali di diverse sostanze. Newton stesso ha eseguito degli esperimenti di questo genere, e ha trovato che i pesi di masse eguali erano gli stessi per tutti i corpi da lui esaminati. Bessel, nel 1830, fece sull'argomento altre esperienze, le quali sono le più precise che noi conosciamo, e dimostrò che i pesi di masse eguali di piombo, d'argento, di ferro non differiscono che di meno di una parte su 60,000.

Però le esperienze compiute da Newton e da Bessel non si estesero ad alcuno dei corpi meravigliosi dotati del potere della radioattività.

La scoperta di tali corpi avvenne solo molto più tardi, e rappresenta una delle conquiste più gloriose della fisica contemporanea.

Etere e sostanze radioattive.

Queste sostanze radioattive emettono costantemente forti quantità di calore e ciò probabilmente a spese della loro energia potenziale. Dunque, quando esse abbiano raggiunto il loro stato definitivo non radioattivo, la loro energia potenziale deve essere minore che quando esse erano radioattive. Le misurazioni eseguite dal prof. Rutherford dimostrano che l'energia emessa da un grammo di radium durante la sua degradazione, è eguale dall'energia cinetica di una massa di $^1/_{13}$ di milligrammo la quale si muova con la velocità della luce.

Quest'energia, secondo la regola a cui ho accennato, corrisponde a una massa di etere di $^1/_{13}$ di milligrammo. Perciò quando il radium è allo stato radioattivo, a un grammo di esso deve essere associato almeno $^1/_{13}$ di milligrammo d'etere in più che quando la stessa massa di radium si sia degradata in sostanze non radioattive. Per conseguenza, se questo etere non aumenta il peso del radium, il quoziente della massa

Digitized by Google

divisa per il peso sarà maggiore per il radium, stesso che per i suoi derivati non radioattivi e ciò in un rapporto eguale press'a poco a $^1/_{13,000}$.

Qualche anno fa, io ho tentato di determinare, per il radium, il rapporto della massa al peso, facendo oscillare un piccolo pendolo formato di quella sostanza. Non avevo allora a mia disposizione che una minima quantità di radium, e non potevo perciò pretendere di ottenere dei risultati molto precisi. Ho trovato che, se esiste, fra il radium e altre sostanze, una differenza nel quoziente della massa per il peso, la differenza stessa non può essere superiore alla frazione $^1/_{2000}$.

Recentemente, abbiamo utilizzato, al Laboratorio Cavendish, un pendolo la cui pallina era piena d'ossido d'uranio. Abbiamo delle buone ragioni per supporre che l'uranio è uno degli ascendenti del radium di guisa che la grande energia potenziale e la forte massa di etere posseduta dal radium saranno egualmente presenti nell'uranio.

Le esperienze non sono ancora finite. E ancora non osiamo sperare che le sostanze radioattive, agli immensi servigi già resi alla scienza, aggiungano quello d'offrire il primo esempio d'una differenza nell'azione della gravità.

L'energia potenziale.

La massa di etere aderente a un sistema qualsiasi è tale che, se si comunicasse a questa massa la velocità della luce, la sua energia cinetica sarebbe eguale all'energia potenziale del sistema.

Questa proposizione suggerisce una nuova concezione dell'energia potenziale.

L'energia potenziale viene di solito considerata come un che d'essenzialmente differente dall'energia cinetica. Da un lato, l'energia potenziale dipende dalla configurazione del sistema e può, se possediamo i dati occorrenti, essere calcolata in base a quest'ultima; dall'altro, l'energia cinetica dipende dalla velocità del sistema.

Secondo la teoria della conservazione dell'energia, le due forme possono convertirsi reciprocamente l'una nell'altra, in conformità a una certa legge di trasformazione, in modo che quando scompare un'unità dell'una delle due specie, apparisce simultaneamente un'unità dell'altra specie.

Ora, in un gran numero di casi, questa legge ci basta per determinare il modo con cui si comporterà un sistema, e la nozione di energia potenziale ha un'utilità incalcolabile, in quanto essa ci dà il modo di utilizzare mediante il calcolo matematico i dati forniti dall'esperimento e dall'osservazione.

A me sembra per altro che si debba riconoscere come, dal punto di vista puramente filosofico, questa maniera di vedere le cose dà luogo a un'obiezione molto seria. Per esempio, essa non si accorda col principio di continuità. Quando una cosa passa da uno stato A a uno stato diverso B, il principio di continuità esige che la cosa passi attraverso un certo numero di stati intermedi fra A e B, in modo che la transizione si compia gradatamente e non bruscamente.

Ora, quando l'energia cinetica si trasforma in energia potenziale, benchè non vi sia variazione nella quantità di energia, vi è discontinuità nella sua qualità poichè non conosciamo una specie di energia intermedia fra quella dovuta al movimento e quella dovuta alla posizione del sistema; e si suppone che certe porzioni di energia passino *per saltum* dalla forma cinetica alla forma potenziale. Per i gas, nel caso della trasformazione dell'energia cinetica in energia calorifica, la discontinuità è scomparsa quando abbiamo acquistato una conoscenza più completa della natura dell'energia calorifica di un gas. Nell'epoca in cui ignoravamo quale fosse la fonte di tale energia, la conversione dell'energia cinetica in energia termica ci sembrava discontinua. Oggi, invece, sappiamo che quest'ultima energia è l'energia cinetica delle molecole del gas, di guisa che non vi è più cambiamento nella specie dell'energia, quando l'energia cinetica da un movimento visibile si trasforma in energia termica di un gas: non si verifica allora che un trapasso di energia cinetica da un corpo a un altro.

Se noi consideriamo l'energia potenziale come l'energia cinetica delle porzioni di etere aderenti al sistema, da tale concetto consegue che tutte le forme di energia si riducono a energia cinetica, perchè tutte sono dovute al movimento della materia o delle porzioni di etere aderenti alla materia. Già molto tempo fa io ho dimostrato, nelle mie *Applicazioni della dinamica alla fisica e alla chimica*, che noi possiamo simulare gli effetti dell'energia potenziale di un sistema per mezzo dell'energia cinetica di sistemi invisibili collegati in maniera conveniente col sistema principale, e che in realtà l'energia potenziale dell'universo visibile potrebbe essere l'energia cinetica di un universo invisibile, collegato col primo.

E' naturale supporre che quest'universo invisibile sia l'etere luminifero, che certe parti del l'etere, animate da un movimento molto rapido, sieno collegate ai sistemi visibili e che la loro energia cinetica non sia che l'energia potenziale di tali sistemi.

Si può dunque assimilare l'etere a una Banca presso la quale possiamo depositare e ritirare l'energia a nostro piacimento. La massa d'etere aderente a un sistema varierà col variare dell'energia potenziale, e, come conseguenza, la

Digitized by Google

massa di un sistema di cui varia l'energia potenziale non può essere costante; però, nelle condizioni ordinarie, le variazioni della massa sono così piccole che noi non siamo capaci di riconoscerle con nessuno dei mezzi di cui attualmente disponiamo.

E poichè le diverse forme di energia potenziale si trasmutano continuamente in energia calorifica, che è l'energia cinetica delle molecole materiali, la massa di un sistema, quale la Terra o il Sole, tende costantemente a diminuire, e, quindi, la massa di etere ritenuta dall'universo materiale diventa sempre più piccola. Però, la velocità con cui essa diminuirebbe, decrescerebbe man mano che il tempo passa, in modo che non vi è ragione di pensare che questa massa di etere sia per discendere mai al di sotto di un valore molto elevato.

L'irradiazione della luce e del calore emessi da un corpo incandescente come il Sole, fa sì che il corpo perda continuamente della massa. Ogni unità di energia irradiata implica una perdita di massa; ma, tenuto conto che la massa espulsa ogni anno dal Sole non è che un ventimiliardesimo della massa di quell'astro, e che questa diminuzione di massa non è necessariamente accompagnata da una diminuzione dell'attrazione gravifica, così noi non possiamo sperare di essere in grado di rilevare direttamente il fenomeno.

Mentre progrediva la nostra conoscenza delle proprietà della materia, eravamo obbligati a riconoscere che l'etere, mentre trasmette la luce, possiede delle proprietà, le quali, prima dell'introduzione della teoria elettromagnetica, avrebbero potuto apparire riferibili a una teoria dell'emissione, e, così, divenire funeste per la teoria secondo la quale la luce è costituita da ondulazioni.

La pressione della luce.

Consideriamo, per esempio, la pressione esercitata dalla luce. Sarebbe cosa naturale supporre che la luce sia formata da piccole particelle animate da forti velocità, poichè queste, andando a urtare un corpo, tenderebbero evidentemente a spingerlo in avanti; mentre secondo la traccia ondulatoria, parrebbe che non vi fosse alcuna ragione per cui dovesse prodursi un effetto di tal genere.

E infatti, nel 1792, questo punto era considerato come un criterio per giudicare il valore delle teorie; e Bennett fece degli esperimenti per vedere se fosse possibile scoprire qualche traccia di tale pressione. Oggi sappiamo che la pressione esiste, e Bennett avrebbe potuto rilevarla se il suo strumento fosse stato più sensibile.

E' stata, forse, una fortuna che quel fisico non abbia avuto a propria disposizione uno strumento più delicato. Se egli avesse scoperto la pressione, avrebbe scosso la fiducia che si aveva nella teoria ondulatoria e ostacolato l'opera magnifica, che, sul principio del secolo XIX, ha così largamente esteso il campo delle nostre cognizione nell'ottica.

La distribuzione dell'energia in un'onda luminosa.

Per dare un altro esempio, consideriamo la questione della distribuzione dell'energia in un'onda luminosa. Secondo la teoria dell'emissione, l'energia della luce è l'energia cinetica delle particelle luminose. Quindi l'energia luminosa sarebbe costituita da unità distinte, l'unità essendo l'energia di una particella.

L'idea che l'energia abbia una struttura di tal genere ha avuto recentemente una importante conferma. Planck, in una serie di ricerche molto notevoli sulla termodinamica della radiazione, ha osservato che, nel caso dell'energia radiante, le espressioni ottenute per l'energia e l'entropia, avevano una forma tale da far pensare che l'energia di irradiazione, come l'energia di un gas nella teoria molecolare, sarebbe costituita da unità distinte, la grandezza dell'unità dipendendo dal colore della luce; e, mediante tale ipotesi, potè calcolare il valore dell'unità, e dedurne, incidentalmente, la costante di Avogadro, cioè il numero delle molecole contenute in un centimetro cubo di un gas, alla temperatura e alla pressione ordinarie.

Questo risultato è assai interessante e importante, perchè, se esso fosse una conseguenza legittima della seconda legge della termodinamica, importerebbe come conseguenza che per i radiatori i quali emettono della luce e per i ricevitori che l'assorbano, un solo tipo determinato di meccanismo sarebbe conforme a questa legge.

Se così fosse, considerando l'universo come un insieme di macchine tutte soggette alle leggi della dinamica, la seconda legge della termodinamica non sarebbe vera che per un tipo determinato di macchine.

Sembra per altro che contro questo concetto si posso sollevare un'obbiezione molto grave, che possa mettere in evidenza con l'esempio della prima legge della termodinamica, il principio della conservazione dell'energia.

Quest'ultimo deve essere verificato qualunque sia la natura delle macchine che costituiscono l'universo, purchè queste macchine obbediscano alle leggi della termodinamica; l'applicazione, sotto qualunque si voglia forma, del principio della conservazione dell'energia, non può permetterci di distinguere l'un tipo di macchina dall'altro.

Ora, bisogna aspettarsi che la seconda legge

Digitized by Google

della termodinamica, benchè non sia un principio di dinamica così rigoroso come il principio della conservazione dell'energia, valga per un insieme numeroso di macchine qualunque, purchè non si possa agire per ciascuna macchina individualmente, ma solo osservare gli effetti tutti prodotti da un gran numero di esse. Secondo questo modo di vedere, la seconda legge, al pari che la prima, sarebbe incapace di dire se le macchine appartengono a qualche tipo determinato; di modo che, a mio avviso, le investigazioni fondate sulla termodinamica, qualunque suggerimento possano dare le formule a cui esse conducono, non possono fornire una prova decisiva della struttura discontinua dell'energia luminosa.

Le cose procedono come se, nelle applicazioni della termodinamica alle radiazioni, fosse stata implicitamente introdotta un'ipotesi addizionale; poichè tali applicazioni conducono a definire le relazioni tra l'energia d'una luce di una qualunque lunghezza d'onda e la temperatura del corpo luminoso.

Fra le spiegazioni possibili dell'emissione della luce dai corpi incandescenti vi è l'ipotesi che la luce sia prodotta dagli urti dei corpuscoli contro le molecole del corpo caldo; ma sarebbe unicamente in virtù di una legge di forza particolare fra i corpuscoli e le molecole, che la distribuzione dell'energia coinciderebbe con quella dedotta dalla seconda legge della termodinamica, in modo che, in questo caso come nel precedente, i risultati forniti dall'applicazione della termodinamica alle radiazioni ci obbligano a supporre che la seconda legge della termodinamica non vale per le radiazioni se non quando queste sono prodotte da apparecchi di un tipo speciale.

Però, in base a considerazioni del tutto diverse da quelle della termodinamica, si è arrivati a supporre che, in molti casi, i raggi delle fonti luminose sono costituiti da particelle dotate, a partire da una certa velocità iniziale, di una quantità definita d'energia.

Consideriamo, per esempio, un gas come il vapore di sodio, il quale emette una luce di lunghezza d'onda ben definita. Si può supporre che questa luce, costituita da onde elettriche, sia prodotta da un sistema analogo alle bottiglie di Leida. L'energia posseduta in origine da un tale sistema sarà l'energia elettrostatica della bottiglia carica. Nel momento in cui cominciano le vibrazioni, quest'energia è irradiata attraverso lo spazio, e le radiazioni emesse formano un sistema complesso che contiene l'energia accumulata sulla bottiglia di Leida, se la resistenza di questa è trascurabile.

La quantità di energia dipenderà dalle dimensioni della bottiglia e dalla sua carica elettrica. Per quanto riguarda la carica, non dobbiamo dimenticare che stiamo considerando dei sistemi costituiti da semplici molecole, in modo che la carica consisterà soltanto in una o due unità naturali d'elettricità, o, al massimo, in alcuni casi, in un multiplo di questa unità, e, per delle bottiglie di Leida geometricamente simili, l'energia sarà, per una carica determinata, proporzionale alla frequenza delle vibrazioni; e quindi l'energia, nel fascio irradiato, sarà proporzionale alla frequenza delle vibrazioni.

Possiamo rappresentarci la radiazione come formata da linee di forza che, prima dell'inizio delle vibrazioni, erano immobilizzate dalle cariche della bottiglia di Leida, ma che, non appena le vibrazioni cominciano, si agitano in ondulazioni ritmiche, staccantisi dalla bottiglia e lanciate nello spazio in cui esse circolano allora con la velocità della luce.

Supponiamo adesso che questo sistema incontri un condensatore scarico e gli comunichi una certa carica di elettricità; sopra ciascuna lastra del condensatore la carica dovrà essere almeno un'unità di elettricità, perchè delle frazioni di questa carica non esistono, e ogni carica unitaria sarà il punto d'inserzione di un tubo di forza-unità, proveniente dalla particella di radiazione che colpisce quel punto. Così un tubo di luce incidente sarà ritenuto dal condensatore, e la particella formata da questo tubo sarà fissata al fascio luminoso che investe il condensatore. Se, per caricare il condensatore di un'unità d'elettricità, l'energia occorrente è superiore all'energia della particella incidente, il tubo non sarà ritenuto, la luce traverserà il condensatore e ne sfuggirà.

I raggi Roentgen secondari.

Il principio che la radiazione consta di unità e l'altro che ciascuna unità deve possedere una quantità determinata di energia per far vibrare il corpo che essa investe, trovano un'illustrazione molto brillante nelle leggi notevoli che regolano i raggi Roentgen secondari, scoperti ultimamente dal prof. Barkla. Questo scienziato ha trovato che ciascun elemento chimico, se è esposto ai raggi Roentgen, emette una radiazione secondaria di tipo definito qualunque sia il tipo della radiazione primaria. Il piombo fornisce un certo tipo di raggi, il rame un altro, e così via. Ma questi raggi non si producono più, se i raggi primari sono più dolci dei raggi specifici che la sostanza può emettere. Così essendo i raggi secondari del piombo più duri di quelli del rame, se il rame è esposto ai raggi secondari del piombo, esso emetterà delle radiazioni, ma l'eccitazione non avrà luogo se il piombo sarà esposto ai raggi secondari del rame.

Per conseguenza, se ammettiamo che l'ener-

Digitized by Google

gia di un'unità di raggi Roentgen duri è più grande di quella di un'unità di raggi dolci, i risultati del Barkla presentano una notevole analogia con quelli che si dedurrebbero dalla teoria particolare della luce.

L'energia delle vibrazioni luminose.

Per quanto vi siano delle buone ragioni per credere che l'energia delle vibrazioni luminose di lunghezza d'onda definita, sia distribuita in fasci di tubi di forza, e che questi contengano tutti, all'emissione, la medesima quantità di energia, a mio avviso non si può supporre con buon fondamento, che in uno *specimen* qualsiasi di luce di quella stessa lunghezza d'onda, la quale abbia subìto, dopo la sua emissione, numerose rifrazioni o riflessioni, i fasci che la costituiscono posseggano ancora una quantità determinata di energia.

Consideriamo quello che deve avvenire quando un fascio luminoso incontra, per esempio, una superficie di vetro dove una parte dell'energia è riflessa e un'altra parte passa oltre. Il fascio è diviso in due frazioni, in ciascuna delle quali l'energia è minore che nel fascio incidente, e siccome queste frazioni divergono e possono alla fine trovarsi lontane parecchie migliaia di chilometri, sembra che l'idea di considerarle ancora siccome costituenti un'unità non abbia senso. Così, la quantità d'energia dei fasci di tubi di forza che costituiscono la luce, dopo riflessione parziale, non sarà più la stessa che al momento dell'emissione. Degli esperimenti sull'interferenza dei raggi luminosi emergenti in varie direzioni dalla fonte, probabilmente permetterebbero di chiarire questo punto.

La radioattività.

Passo ora a parlare brevemente di uno dei più importanti e più interessanti progressi che siano mai stati compiuti nella fisica: voglio dire la scoperta e lo studio della radioattività.

Le nostre cognizioni sulla radioattività derivano dalla scoperta dei raggi Roentgen. Una fra le numerose proprietà notevoli di tali raggi è quella di eccitare la fosforescenza di certe sostanze, fra le quali si trovano i sali di uranio, quando esse siano sottoposte alla loro azione. Poichè i raggi Roentgen provocano la fosforescenza, il fisico francese Henri Becquerel pensò di verificare se la fosforescenza non produca per avventura dei raggi Roentgen. Egli prese dei sali d'uranio resi fosforescenti non col mezzo dei raggi Roentgen, ma mediante la luce solare, li esaminò e trovò che essi emettevano dei raggi analoghi, per le loro proprietà, ai raggi Roentgen. Però uno studio ulteriore mostrò che, per ottenere questi raggi, non era affatto necessario di partire dall'uranio fosforescente; i sali erano egualmente attivi anche quando erano stati tenuti al buio. Si rilevò da ciò che la proprietà apparteneva ai sali, non alla fosforescenza, e che l'uranio e i suoi composti erano dotati della facoltà di emettere dei raggi i quali, come i raggi Roentgen, impressionano la lastra fotografica, eccitano la fosforescenza di certi minerali e rendono conduttori dell'elettricità i gas che attraversano.

Poco tempo dopo la scoperta del Becquerel, concernente l'uranio, Schmidt constatò che il torio possedeva delle proprietà analoghe. Più tardi, in seguito a una ricerca molto difficile e laboriosa, i coniugi Curie scoprivano due nuove sostanze, il radium e il polonium, che possedevano questa proprietà in misura molto più elevata del torio e dell'uranio, e questa scoperta fu seguìta da quella dell'actinium, per opera del Debierne.

Le ricerche di Rutherford e di altri ci hanno fatto conoscere un numero così grande di nuove sostanze radioattive, che non si tenta nemmeno più di dare loro dei nomi, e si preferisce designarle per mezzo delle lettere dell'alfabeto.

Il fisico Campbell ha assodato recentemente che il potassio, benchè stia molto al di sotto, da tale punto di vista, di una qualunque delle sostanze che ho dianzi menzionate, emette una irradiazione apprezzabile, la cui intensità dipende solamente dalla quantità di potassio, e che resta la medesima quali si sia la fonte da cui proviene il potassio, e quali si siano gli elementi con cui esso si trova combinato.

Le radiazioni.

Le radiazioni emananti da tali sostanze sono di tre specie, conosciute con i nomi di raggi α, raggi β, e raggi γ. Rutherford ha dimostrano che i raggi α sono degli atomi di *helium* elettrizzati positivamente, e moventisi con una velocità eguale, all'incirca, a un decimo della velocità della luce.

I raggi β sono dei corpuscoli elettrizzati negativamente, e moventisi, in certi casi, con velocità molto vicine a quella della luce stessa. I raggi γ invece non sono elettrizzati e sono analoghi ai raggi Roentgen.

Crookes riconobbe che la radioattività dell'uranio proviene da un corpo associato all'uranio e le cui proprietà differiscono sensibilmente da quelle dell'uranio, a tal segno da rendere possibile una separazione per via chimica. Prendendo un po' d'uranio egli lo frazionò, mediante un trattamento chimico, in due porzioni, di cui una era radioattiva e l'altra no.

Più tardi, Becquerel trovò, che se queste due porzioni erano lasciate stare per alcuni mesi, la parte originariamente non radioattiva riacqui-

Digitized by Google

stava mentre l'altra parte, radioattiva sul principio, aveva perduto la sua radioattività.

Le trasformazioni radioattive.

Questi fenomeni e molti altri analoghi trovano una spiegazione completa nella teoria delle trasformazioni radioattive, dovuta a Rutherford e a Sodde.

Secondo questa teoria, gli elementi radioattivi non sono permanenti: essi si disintegrano a poco per volta in elementi di peso atomico inferiore. L'uranio, per esempio, si distrugge lentamente, e uno dei prodotti di distruzione è il radium, mentre il radium si distrugge a sua volta, dando origine a un gas radioattivo chiamato emanazione del radium; l'emanazione produce un'altra sostanza, e così via: inoltre le radiazioni somigliano in certo qual modo al canto del cigno che gli atomi esalano nel passare da una forma all'altra; per esempio, i raggi che costituiscono la radioattività si producono quando un atomo di radium resta distrutto e apparisce un atomo di emanazione.

Così gli atomi degli elementi radioattivi non sono immortali; essi muoiono dopo una vita la cui durata varia da alcune migliaia di milioni d'anni, nel caso dell'uranio, a un secondo circa, nel caso dell'emanazione gassosa dell'attinio.

Nel passare da uno stato all'altro, gli atomi sviluppano forti quantità di energia; per conseguenza, i loro discendenti non ereditano, in fatto di energia, tutte la ricchezza accumulata in questi atomi; ciascuna generazione nuova viene a trovarsi in una condizione meno fortunata della precedente.

Vita e morte degli atomi.

Quando si consideri la velocità con cui spariscono gli atomi di una sostanza radioattiva, sorgono parecchie questioni molto interessanti. Il Rutherford ha dimostrato che, qualunque sia la loro età, la proporzione di atomi che sparisce in un secondo è sempre la stessa; in altri termini, le probabilità di morte di un atomo sono indipendenti dalla sua età: un atomo vecchio di mille anni, ha la stessa probabilità di vivere altri mille anni che un atomo pur mo' nato.

Ciò porterebbe a credere che la morte degli atomi sia dovuta a una qualche causa esterna la quale agisce indifferentemente sui giovani e sui vecchi. Così, in una battaglia, la probabilità di rimanere ucciso è la medesima per un giovane come per un vecchio. In tal modo noi siamo tratti, a ricercare nell'ambiente esterno la causa a cui va attribuita, per esempio, la trasformazione improvvisa dell'atomo di radium in atomo di emanazione.

Ma qui ci troviamo di fronte a una difficoltà: nessuna delle variazioni delle condizioni esterne che siamo stati in grado di produrre fin adesso, ha avuto influenza sulla durata della vita dell'atomo; per quanto ci è dato di sapere attualmente, la vita di un atomo ha la medesima durata alla temperatura di un forno come a quella dell'aria liquida. Non si riesce a variarla circondando il radium di spessi schermi di piombo o d'altre sostanze dense che non lasciano passare alcuna radiazione esterna. E, cosa che a me sembra molto significante, questa vita rimane la medesima, sia che il radium si trovi sotto la forma più concentrata possibile, vale a dire quando i suoi atomi subiscono il nudrito bombardamento dei raggi provenienti dagli atomi vicini, sia quando esso si trova nella soluzione più diluita, in cui i raggi sono assorbiti dall'acqua che separa l'uno dall'altro i vari atomi.

Quest'ultimo fatto, a mio avviso, scuote l'ipotesi secondo cui noi potremmo scindere gli atomi degli elementi non radioattivi, esponendo questi alle radiazioni del radium; se queste radiazioni sono impotenti di fronte ad atomi radioattivi instabili, mi pare poco probabile che essi possono toccare la compagine degli elementi non radioattivi, molto più stabili di quelli.

Tutto quello che attualmente sappiamo, contrasta l'idea di una perturbazione esterna che venga a spezzare gli atomi radioattivi. Perciò dobbiamo cercare la causa distruttiva nell'atomo stesso.

Ma come potremo allora conciliare questo fenomeno col fatto che la durata della vita probabile, per un atomo, non diminuisce man mano che l'atomo invecchia? Potremo raggiungere la conciliazione supponendo che gli atomi, al momento della loro nascita, non abbiano tutti una costituzione egualmente vigorosa, che gli uni siano più robusti e gli altri meno, forse perchè i primi contengono una maggior quantità di energia intrinseca iniziale che i secondi.

Ora, se al momento della loro nascita gli atomi sono rispettivamente chiamati a vivere un anno, dieci anni, mille anni, ecc., e se tutte le durate di vita, dallo zero all'infinito, sono rappresentate in proporzione tale che il numero di atomi i quali debbono vivere oltre un certo numero d'anni, decresca in un rapporto costante per ogni anno supplementare, si può facilmente dimostrare che la durata della vita probabile di un atomo sarà sempre la stessa qualunque sia la sua età. Dato questo concetto, i diversi atomi di una sostanza radioattiva non sono tutti identici sotto ogni rapporto.

L'energia delle sostanze radioattive.

L'energia sviluppata dalle sostanze radioattive è enorme. Un grammo di radium sviluppa quasi altrettanta energia quanta la combustione di una tonnellata di carbone. Quest'energia è,

Digitized by Google

per la maggior parte, contenuta nelle particelle α, gli atomi di *helium* carichi d'elettricità positiva che sono espulsi nel momento in cui avviene la trasformazione. Se questa energia fosse dovuta a forze elettriche, essa indicherebbe che l'atomo d'*helium* effettuerebbe la sua uscita dall'atomo di radium sotto l'azione di una differenza di potenziale di circa due milioni di *volts*.

Quale è la fonte di questa energia? Ecco un problema in sommo grado interessante. Essa potrebbe provenire dalla repulsione di sistemi carichi di elettricità del medesimo segno, e che perciò esercitano delle forze inversamente proporzionali al quadrato della distanza. Se così fosse, per fornire la quantità di energia occorrente e con cariche comparabili a quella di una particella α, i sistemi elettrizzati non potrebbero essere separati da un intervallo maggiore del diametro di un corpuscolo, cioè — 10^{-13} centimetri.

Se supponiamo che le particelle non acquistino tale energia al momento dell'esplosione, ma che, prima di essere lanciate fuori dei limiti dell'atomo di radium, esse circolino sopra delle circonferenze, nell'interno dell'atomo, con la velocità da cui sono animate nel momento del loro allontanamento, le forze necessarie per mantenere sulle loro traiettorie delle particelle dotate di tali velocità sono così grandi, che, alle distanze comparabili col raggio di un corpuscolo, soltanto delle cariche finite di elettricità potrebbero produrle.

La quantità di energia occorrente potrebbe essere ottenuta in un altro modo, suggerito da un'ipotesi a cui ho già accennato, vale a dire che l'atomo contenga dei sistemi elettrizzati di tipi molto diversi, l'uno piccolo l'altro grande; il raggio di uno dei tipi sarebbe dell'ordine di -10^{-13} centimetro, quello dell'altro, circa centomila volte più grande. L'energia potenziale elettrostatica dei corpi più piccoli è parecchio più grande che quella dei più grossi; e se uno di questi piccoli sistemi venisse a spezzarsi e a dilatarsi fino a raggiungere le dimensioni dei più grossi, si avrebbe lo sviluppo di una quantità di energia grande abbastanza per conferire alle particelle α l'energia che esse posseggono.

Potrebbe darsi che le unità di elettricità positiva siano state, inizialmente, egualmente piccole che le unità negative; e che, se, nel corso del tempo, un gran numero di tali unità positive sono passate dalle dimensioni più piccole alle più più grandi, ne restino, tuttavia, ancora alcune nelle sostanze radioattive; e allora sarebbe l'esplosione di queste ritardatarie quella che svilupperebbe l'energia che si produce durante le trasformazioni radioattive.

Conclusione.

Le nuove scoperte fatte nel dominio della fisica nel corso degli ultimi anni, come le idee che esse suggeriscono e le possibilità che esse portano con sè, hanno esercitato sopra coloro che si occupano di tali studi un effetto analogo a quello prodotto nel dominio delle lettere dal Rinascimento.

Si è avuto un risveglio di entusiasmo, e si sente circolare un soffio di speranza, di giovinezza, di esuberanza forse, che spinge gli studiosi a intraprendere con confidenza delle ricerche che vent'anni fa sarebbero state giudicate chimeriche.

Si è completamente dissipata l'impressione pessimistica, comune nell'età nostra, che tutte le cose interessanti erano state trovate e che non restava da fare altro se non rettificare una o due cifre decimali in alcune costanti fisiche. Questa impressione non è mai stata giustificata: non sono mai apparsi dei segni annunziatori della fine della scienza.

In ogni caso, nell'ora in cui parliamo, l'insieme delle nostre cognizioni forma una serie divergente e non una serie convergente. Di mano in mano che noi andiamo oltre nella nostra conquista, volta per volta, vediamo schiudersi dinanzi ai nostri occhi delle contrade piene d'incanti, ma non vediamo alcun confine, non scorgiamo alcun orizzonte. Lontan lontano, si levano verso il cielo delle vette sempre più alte, le quali offriranno, a coloro che le scaleranno, dei panorami ancora più vasti, e daranno nuova forza al sentimento, la cui verità apparisce sempre più evidente quanto più progredisce la scienza: « *Grandi sono le opere del Signore* ».

Digitized by Google